荷蘭溫室之結構與環控設備

陳 加 忠
台灣省農業試驗所農工系

為發展適用國內環境之溫室，國內數年前即開始自荷蘭引進其精密環控溫室，並做為模仿學習的對象。然而荷蘭溫室之基本結構，主要應用之兩型溫室與環控所用之電腦均缺乏詳細之介紹資料。近年來，引進之溫室與以此為模仿對象之國內產品逐漸增加，其性能卻未能完全合乎使用者要求，在環控技術方面，對於荷蘭環控電腦之指揮程序亦未能瞭解而加以學習。本文之目的在於對荷蘭溫室之主要構造與環控電腦加以系統性介紹。以促使本土化之適用溫室與環控技術早日實用化。

一、溫室型式與結構

荷蘭的玻璃溫室主要有兩型：Venlo型(又稱Dutch型)與Wide Span型，近年來依Wide -Span之主体有許多新改良型。塑膠布溫室其面積僅占總面積1%左右，但研究界已著手建立規格化之塑膠布溫室，並訂定國家標準。

(一)Venlo型

此型溫室之標準寬度為3.2m，高約3.4m，其結構如圖一，其天窗並未連成一体。為避免室內支柱對日照之影響，並增加作業空間，也有將3.2公尺之屋頂以兩個或三個連成一棟成為6.4或9.6m寬度。此種連結方法更可減少排水槽所需之數目，

以降低成本。

標準之覆蓋材料爲單層玻璃，厚度爲4mm，以1.5m寬之跨距提高光量，光線穿透率約90%，近年來亦逐漸採用雙層玻璃或其他代替品。

結構方面主架構爲熱處理後的鍍鋅鋼材，屋頂與山型側牆係利用鋁製品以減輕重量。周牆以鋼筋混凝土爲地基，內部之角柱主要爲預鑄品。

樑架以鋁材爲主，在安全負重範圍內儘量變窄以減少遮蔭，並在樑上打洞使光線穿過，由光線之折射作用使用地面無蔭影存在。

由於作物生產者與技術開發之工程師共同確定以0.8m爲標準作物行距，所有溫室作業系統如傳送(transport)，移植均以0.8m之倍數爲工作單位。

㈡Wide Span型

此型溫室其寬度自8m至16m,大多數溫室之跨距爲12.8m,通常棟高6.4m，側壁高3 .6m，其結構如圖二，其通風天窗爲連續式，利用弧形軌條使天窗開啓可增大天窗空間，其覆蓋材料與結構同於Venlo type。在溫室中間，樑架(truss) 用鋁製管以承擔重量。其剖面圖如圖三所示。玻璃可橫架上面，並利用橡皮墊以固定和絕熱底下之凹槽用以收集凝結水加以排出，中間之圍繞空氣用以做爲熱漲冷縮時之緩衝空間之用。

㈢Wide-Span改良型

對於 Wide-Span型溫室近年來有許多改良，在結構方面兩側改成斜面，以減少風阻力且增加結構強度並可節省要蓋所需材料。覆蓋物方面，開始利用雙層壓克力板(依漢諾威大學之研究結果)也有利用薄膜覆蓋(Coated glass)以增加陽光透射

量，而可節20%之能源需求。

㈣不同溫室之比較

由於結構設計和材料強度的不斷進步，荷蘭的溫室愈蓋愈大，愈蓋愈高，使作物之生長空間的環控條件愈好。荷蘭溫室之高度變化由表 1 可知。兩者溫室之結構強度均必須合乎荷蘭國家標準，其抗雪壓強度爲 250N/m²，抗風壓強度爲400N/m²，內部結構負重強度爲100N/m²。

表 1　　荷蘭溫室棟高之變化

年代	棟高(m)
1970	2.2
1980	3.0
1982	3.2
1984	3.5
1988	4.2
1990	5.0

Venlo型與Wide Span型在自然通風無機械設備作用之比較如下：

(1)在容積方面，Wide-Span型之體積多了 33%，因此Wide-Span有更大的植物生長空間，溫室內之種植密度可增加。

(2)在屋頂通面積方面，Venlo 型之通風開啓面積最大爲21%的地面面積，Wide-Span 型通常爲25%，最大可爲相當30%之地面面積。愈大的通風面積對降溫效果愈好。

(3)由於Wide-Span比Venlo型有更大的容積，其在外界環境變化時，反應速率較緩和，內部之環境穩定性更好。

(4)在興建成本方面，Wide-Span型之單位成本(元/m²)高於

Venlo型約20～40%，但因其需要較少的排水管和中間支柱，因此可降低部份結構成本。此外在Wid e-Span溫室內每單位面積可種更多作物，增加收入。

(5)以應用的作物對象而言，Venlo 型適用於一般之作物如切花、蕃茄、胡瓜……等。Wide-Span型適用於育種作業，種苗生產，盆花……等。

(6)以興建溫室之地域氣候而言，在外界氣候變化迅速，激烈之地區適用Wide-Span型，對大陸型氣候穩定地區適用Venlo型。

(7)金字塔型溫室可減少受強風度，但也減少了屋頂通風面積，對於降溫需求時期長的地區並不適用。

二、溫室之環境控制設備

由於其年平均溫度低，冬天日照强和時間少，荷蘭溫室之主要環境需求在於加溫，增加人工燈光與補充CO_2。在進行環境控制作業時,利用感測器以量測溫室內溫度、濕度、CO_2濃度、熱水管溫度。溫室外溫度、風向、風速、日照量、下雨訊號……等因子，所有資料經介面由電腦處理，經電腦軟体整理，判斷之後發出控制訊號以指揮各種環控設備。環控設備主要爲不同角度天窗的開啓和熱水管(或熱風裝置)之啓用。在加溫方面，主要利用溫室效應以提高溫度，在日照强度不足時以加熱方式提高溫度。其他環控如人工燈源與CO_2之施用均以 ON/OFF 作業方式進行。

由於微電腦設備其硬体價格不斷降低，而且以微電腦之控制精密度遠超越傳統的類比控制(表二)目前微電腦控制己成爲主要之應用技術。

表二 不同環控性能之比較

控制項目	微電腦控制	類比控制
溫度	± 1℃	± 4℃
相對濕度	± 3%	±20%
需水量	± 5%	±20%

控制用軟体則由專業公司研究發展以提供給溫室建設公司使用。主要的軟体公司有三家大公司PRIVA, HOOGEN DOORN, BRINKNAN占有80%之市場，其餘2小公司(VAN VLIET, I NDAL)約有20%之市場。

三家大型軟体公司有兩家提供外銷市場。 PRIVA之產品(本省台糖溫室所用系統)之特色爲依不同作物生長需要(如蕃茄、小胡瓜、切花、種苗…等) 提供不同的軟体。另一家HOOGEN DOORN之產品(台大園藝系溫室所用系統)則包含多種作應用軟体，其售價比PRIVA 高約30%。

由於節省能源已成爲環控時注意的目標，荷蘭利用環控之目的自溫室所有環境之控制轉爲作物成長最需部位之環控。例如利用可昇降之熱水管配合蕃茄，菊花之成長以對生長部位加溫，在育苗場利用活動式隧道方式保溫。另一種節省能源之方式在於以溫室生產業者投資地區電力供應廠，而以發電之癈熱作爲溫室加溫之用，CO_2亦用天然氣之燃燒癈氣以供應。亦利用汽電共裝置以貯備能源。

由於微電腦之使用量增大，"園藝用電腦"已具有一定之市場，此型電腦之特色在於不具有軟碟機。其作業程式以 ROM晶体長駐於電腦中，並有記憶空間以收集數據，可依需要自印表機印出。使用者以簡單之鍵盤設定其作業條件，此已商品化爲易學易懂之工具。

由於國內使用之荷蘭環控電腦主要以PRIVA公司爲主，以下之環控設備介紹之主要內容即以此公司 CD 750 型環控電腦爲描述對象。

(一)主要構造

PRIVA 環控電腦之外部結構爲桌型裝置，螢幕，鍵盤與列表機放置於桌上，在桌子中間有一金屬抽屜用以放置中央控制器電路板。此種中央控制器可稱爲此種設備之腦部，其積體線圈與記憶晶片包含控制程式，能夠儲存使用者的設定條件，更新與儲存溫室內外的資料，處理資料與送出控制訊號。其它記憶晶體用以將儲存資料加以報導與圖示。此種環控電腦之特色在於不需要軟碟或硬碟設備，其控制軟體已放置於記憶晶片之內。

其它之設備包括訊號輸入輸出之介面板，有備用電池以提供斷電時所需動力。

(二)周邊設備

環控電腦之螢幕如同一般電腦,但有特定之省能源裝置，在鍵盤未被使用數分鐘之後，螢幕即自動關掉，按下”ENTER”鍵即可重新啓動。

鍵盤爲特製品，用以提供使用者鍵入設定值之用，因此僅包含 0 至 9 之數字鍵，小數點鍵與 5 個功能鍵。功能鍵有 1.設定鍵(Set)。 2.量測值鍵(Measure)。 3.負號鍵。 4.修正鍵(Correction)。 5.輸入用鍵。

列表機通常爲點距陣型(dot-matrix)。

(三)感測器

環控電腦所利用之感測器對室外環境的量測包括：溫度，日照量，風速，風向，雪量，雨量。溫室內之量測包括空氣溫

度，空氣濕度，熱水管溫度，土壤溫度，天窗開啓位置，二氧化碳濃度，EC與PH值。

(四)啓動器(Actuators)

利用電腦以驅動控制設備之主要動作有兩種：ON/OFF 動作控制馬達和開閉閥門。通常其驅動爲 24 VAC 線路，而灌溉用閥則爲 24 VDC。對需要回復作業(Reversing Swith)的通風窗，遮蔭網等則需要應用額外的 24 VAC 訊號。對鍋爐，冷凍機，水邦浦，蒸氣閥等設備需要添加繼電器。

連接感測器，啓動器至電腦之導線其規格通常爲 0.8 mm^2。

(五)電腦硬體(Hardware)

電腦硬體包括微處理機(CPU)，用以執行計算，控制之用，以 CD 750 爲例，其控制器包括16位元的中央處理器(Central Processor，TMS 9995)，16位元的I/O處理器(TMS，995)，八位元螢幕處理器(TMS 3556)，RAM之記憶體最大爲192K，PROM最大記憶體爲640K。

在輸入輸出方面最多可使用768點，控制用輸出爲 24 VAC 或 24 VDC，輸出電流最大爲1.0安培。同時作業不得超過 8個輸出點，1.6安培。

警報裝置之輸出有三種：(1)電腦自身警報器(Watch dog)，(2)量測警報，(3)施肥灌溉警報裝置。

數位輸入部份利用 12 位元 A/D 轉換器。其電路結構如圖五。

(六)電腦軟體

PRIVA 之電腦軟體採用黑箱方式，爲其公司研究成果，軟體燒錄於晶片之中，用以擔任所用控制作業之”智力”部份，相當於所有環控系統之頭腦部份。此亦爲環控技術之精華所在。

PRIVA 公司對外發表之資料皆未說明此控制判段軟體之結構與邏輯程序，而各環控作業之影響因子介紹如下：

1.通風扇：由設定溫度以控制通風扇數段開啓階段之作業階段。

2.內循環用風扇：由溫室內部相對濕度與簾幕之位置以決定是否開啓。

3.天窗，側窗之開啓角度：由向風或背風風向以決定通風扇之主要開啓方向，對於開啓角度之調整，決定因子爲風速，風向，光強度，溫室內外的溫度差。

4.遮蔭控制：由外界大氣溫度與光強度所決定，相對濕度和風速亦爲考慮因子。

5.水牆 (Pad and Fan) 控制：開閉之設定條件有：(1)內部溫度。(2)溫室內外溫度之差距。(3)設定時間。(4)已作用之風扇數目。

(七)系統作業方式

環控電腦之作業方式依其動作次序描述如下：

1.接受指令

使用者依簡單之程序可鍵入所需要的溫室內部條件(例如溫度) 和設定作業時間，亦可設定其它控制程序。電腦接受指令後即將資料儲放於檔案中。

2.量測與報導

電腦自感測器收集之資料加以處理，因此使電腦確認溫室之現況與變化速率，並可依指令在螢幕上顯示與在列表機上印出。

3.比較與計算

電腦利用軟體程式計算要達到使用者設定之要求時所需之動作，並不斷比較量測值與設定值。若兩種數值之差異已

達顯著值，電腦即開始指揮執行環控動作。

4.控制作業

在需要執行環控作業時，電腦送出動作訊號至馬達，幫浦等設備。

(八)環控方式與設備

1.溫度控制

可用以執行溫度控制之設備包括空氣加熱器，蒸氣系統，熱水管系統，天窗與側窗系統，排氣風扇，內部循環風扇，水牆(Pad and Fan)，噴霧系統等。

對於溫度之設定可依日夜之不同而分段設定，亦可依白日日照量的累積量以改變夜間設定之溫度。

利用熱風加熱時，加熱器可分段加以執行，對於熱水管加熱系統，可設定最大與最小之熱水溫度。

利用水牆系統時，PRIVA 電腦可控制風扇之開啓階段與水牆邦浦之運作。對於側窗與天窗的控制作業，電腦可對窗戶位置進行微調以維持需要之溫度。在程式設定方面，允許在每日特別的時段使控制溫度超過設定溫度。

2.濕度控制

電腦利用加熱，通風與冷卻系統以執行濕度控制。在通常控制狀態下未能滿足濕度要求時，(相對濕度過高)使用者可選定特別控制程式以調整原先溫度控制之加熱與通風設定點，使特別狀況下的高濕狀態下得以消除。在濕度降低至允許範圍之內，溫度控制之設定點在回復原先常態設定狀態。在需要提高濕度時，可利用噴霧系統以完成。

3.加熱器與熱水分配控制

控制加熱器之加溫溫度與熱水管之熱水流動分配狀態。

4.遮蔭與簾幕控制

此控制作業提供使用者於白天執行遮蔭系統，而夜間可用以爲節省能源之簾幕，其控制依據爲時間，外界光強度，或兩者兼用。在使用簾幕時控制程式重新調整最大天窗位置。

5.人工光源控制

6.灌溉控制

灌溉作業之設定可依據作業時間(其間隔由日照累積量調整)，光強度，亦有利用相對濕度爲執行控制依據。每次灌溉之動作時間都可加以設定。

7.施肥控制

此控制動作包括控制施肥量，肥料之 EC 與 PH 值。

8.二氧化碳濃度控制

(九)其它作業

除了執行環境控制之外，環控電腦可執行其它作業。

1.時間控制

可依據各季節日夜長短之變化調整各種設定之時間。

2.監視作業

對於環控電腦而言，其記錄和可列印之資料包括室內溫濕度，熱水管溫度，熱水管作業狀態，土壤溫度，通風窗之開啓程度 (以 % 表示)，二氧化碳濃度，遮蔭簾位置，水牆作業階段，施肥肥液之 EC 與 PH 值，灌溉作業狀態等。

3.報告作業

可報導各量測值之最高，最低與平均值。

4.不良氣候之保護

在暴雨或強風狀態下可執行自我保護作業。

5.圖示作業

可在螢幕上以圖形顯示資料與時間之關係。

6.警告作業

此型電腦的警告作業有兩種：經常性警告與損害性警告。經常性警告僅爲不正確的狀態，但對溫室作物未有嚴重損害。其報導方式可出現於螢幕或以列表機印出。典型的警告如濕度感測錯誤，風速計失效或通風窗位置有誤。

損害性警告之狀況如不正確的溫度感應，過高或過低的溫室溫度，灌溉水中肥料濃度不正確等。在此種警告狀況發生時，除了在螢幕或列表機加以輸出，更可啓動警鈴等裝置以通知使用者立即處理。

三、國內環控技術之問題與展望

國內自引進荷蘭溫室至模仿生產已有多年，國外使用良好的溫室在國內不能如期發揮其功效，其主要原因在於自然環境之差異。荷蘭溫室其基本結構爲嚴密性良好的農業設施。因此對於需要利用溫室效應之偏北寒帶，溫帶氣候區和利用綠洲效應的中亞沙漠地區均能適應，而對於日照能量充沛的亞熱帶與熱帶地區無法直接引入使用。爲發展本土化之適用溫室，由荷蘭溫室之學習展望如下：

(一)亞熱帶與熱帶地區溫室結構之開發

國內之荷蘭精密溫室往往不具側窗，僅有部份天窗。加以無遮蔭裝置，强烈之日照能量使溫室效應十分顯著。爲降低溫度，因自然通風之作用性不良，機械用抽風扇與水牆每年之使用時數極爲可觀，造成能量之浪費而猶未能達到降溫之效果。因此內外遮蔭之設置，側窗，天窗的配合利用都十分重要。

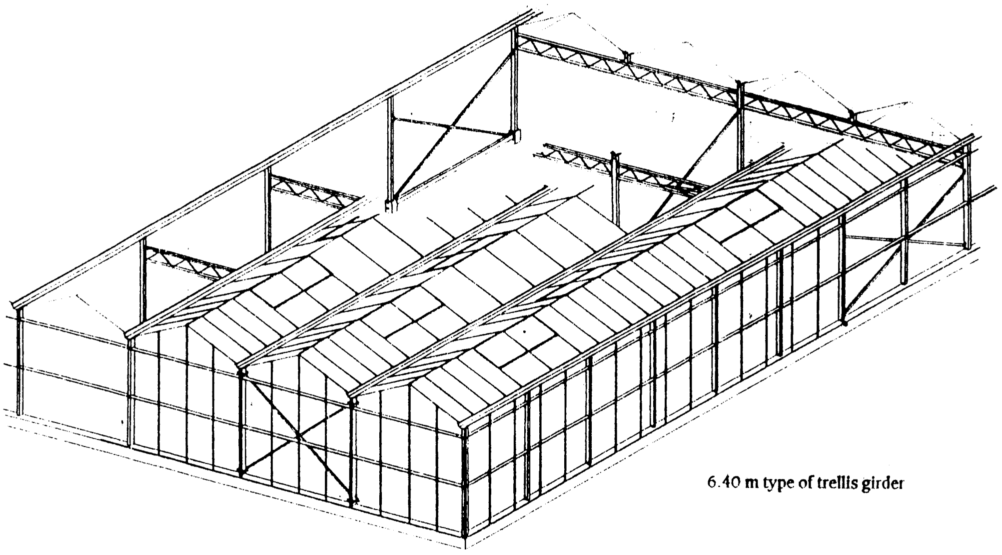
(二)環控策略與環境模式之研究

荷蘭溫室環控電腦之作業中，顯示資料，列印與儲存數據，

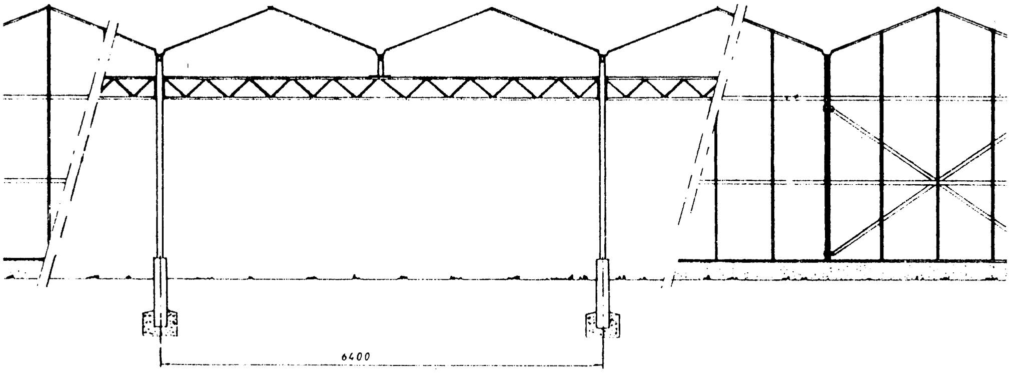
微氣候量測等功用僅爲補助環控作業之用而非環控電腦之主要功能。若環控電腦僅有這些功能，則僅與數據收集器(Data acquistion)或微氣候量測裝置相同。環控電腦之精華即在於其智力判斷之功用，使得環控設備能夠達到預定之條件。對生產環控電腦公司而言，環控策略軟體爲其公司之業務機密，使用者無法直接獲得。因此國內溫室之環控技術開發無法有現成之程式可以抄襲模仿利用，必須經由環境模式之建立加以開發環控策略。而環控電腦具有能執行智慧判斷之程式軟體才可稱爲眞正之環控電腦。亞熱帶與熱帶地之環控策略與控制軟體都需要國人付出心力自力開發。

㈢先近技術之研究開發

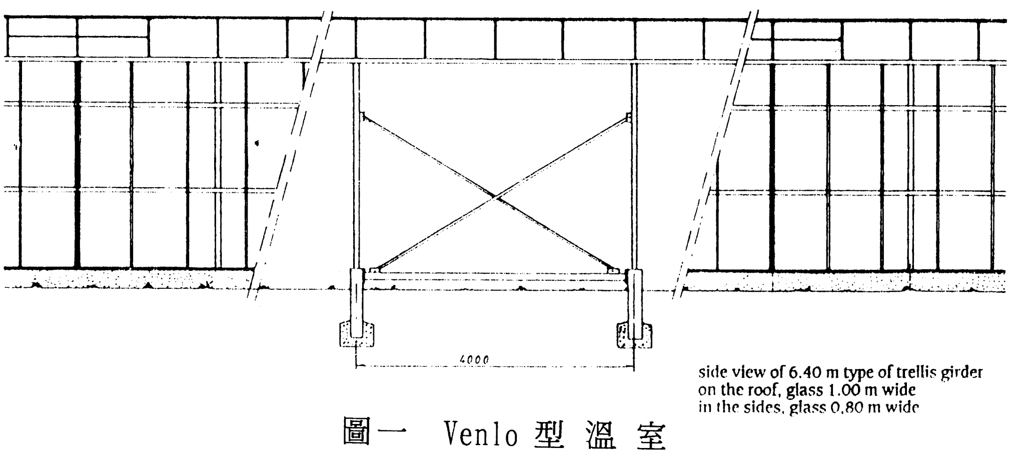
近年來，溫室環控作業結合智慧軟體之技術已有快速進步，例如前授式之控制方式，三層次之控制策略，結合成長模式與成本模式之環控設定，專家系統的利用等。這些技術使得溫室之環控作業性能更加精確，作物生產成本更低。這些先進技術都有研究開發之必要。



6.40 m type of trellis girder



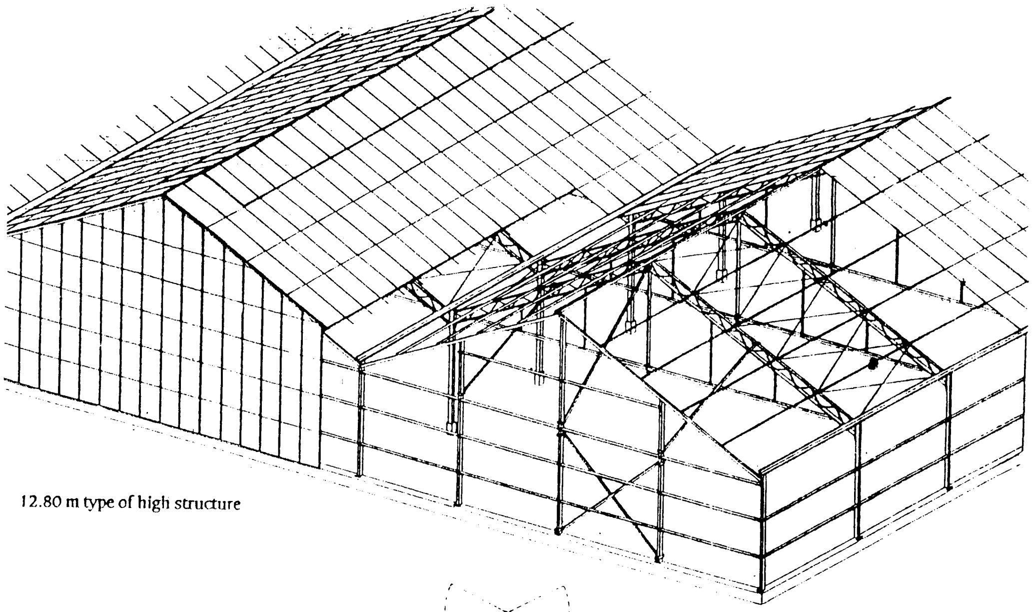
View of 6.40 m trellis girder



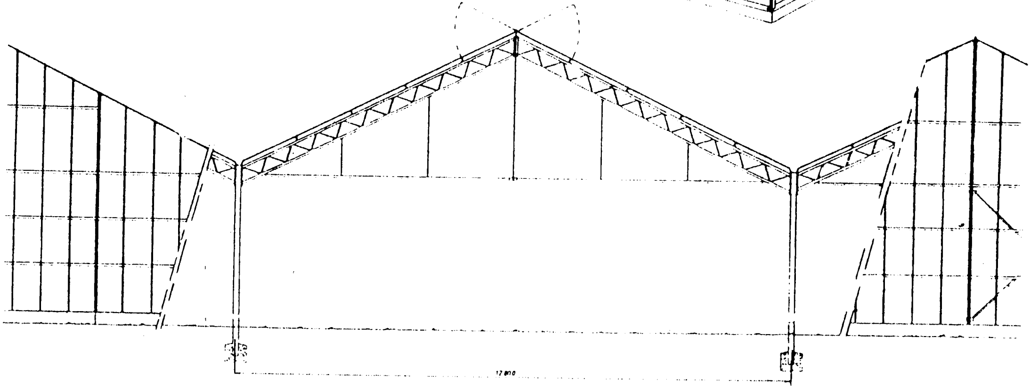
side view of 6.40 m type of trellis girder
on the roof, glass 1.00 m wide
in the sides, glass 0.80 m wide

圖一 Venlo 型 溫 室

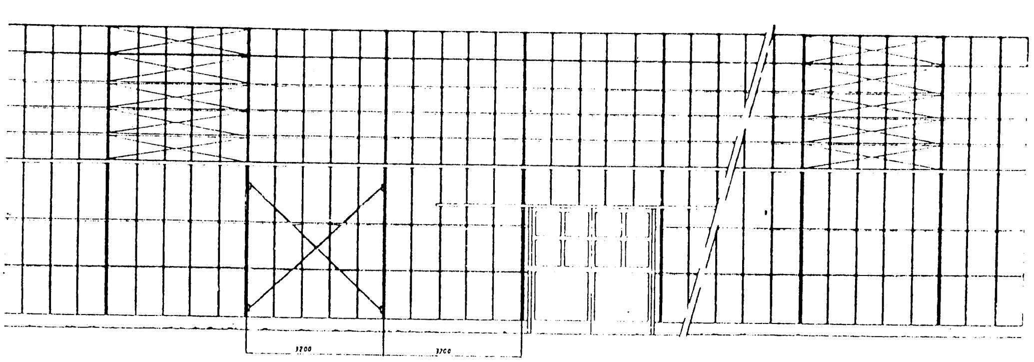
(引自Verbakel／Bomka 公司型錄)



12.80 m type of high structure

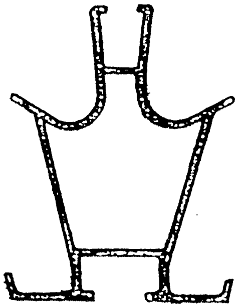


view of 12.80 m high structure

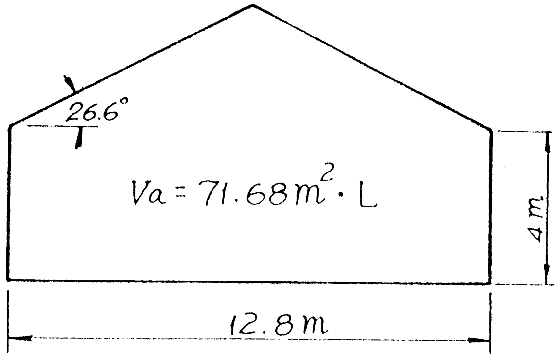


圖二 Wide Span 型 溫 室

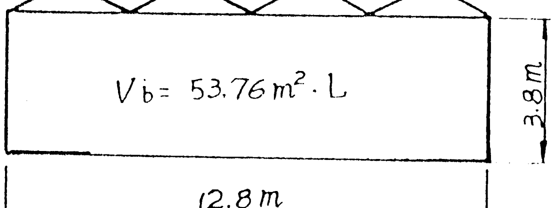
(引自Verbakel／Bomkas 公司型錄)



圖三　溫室用樑架剖面圖

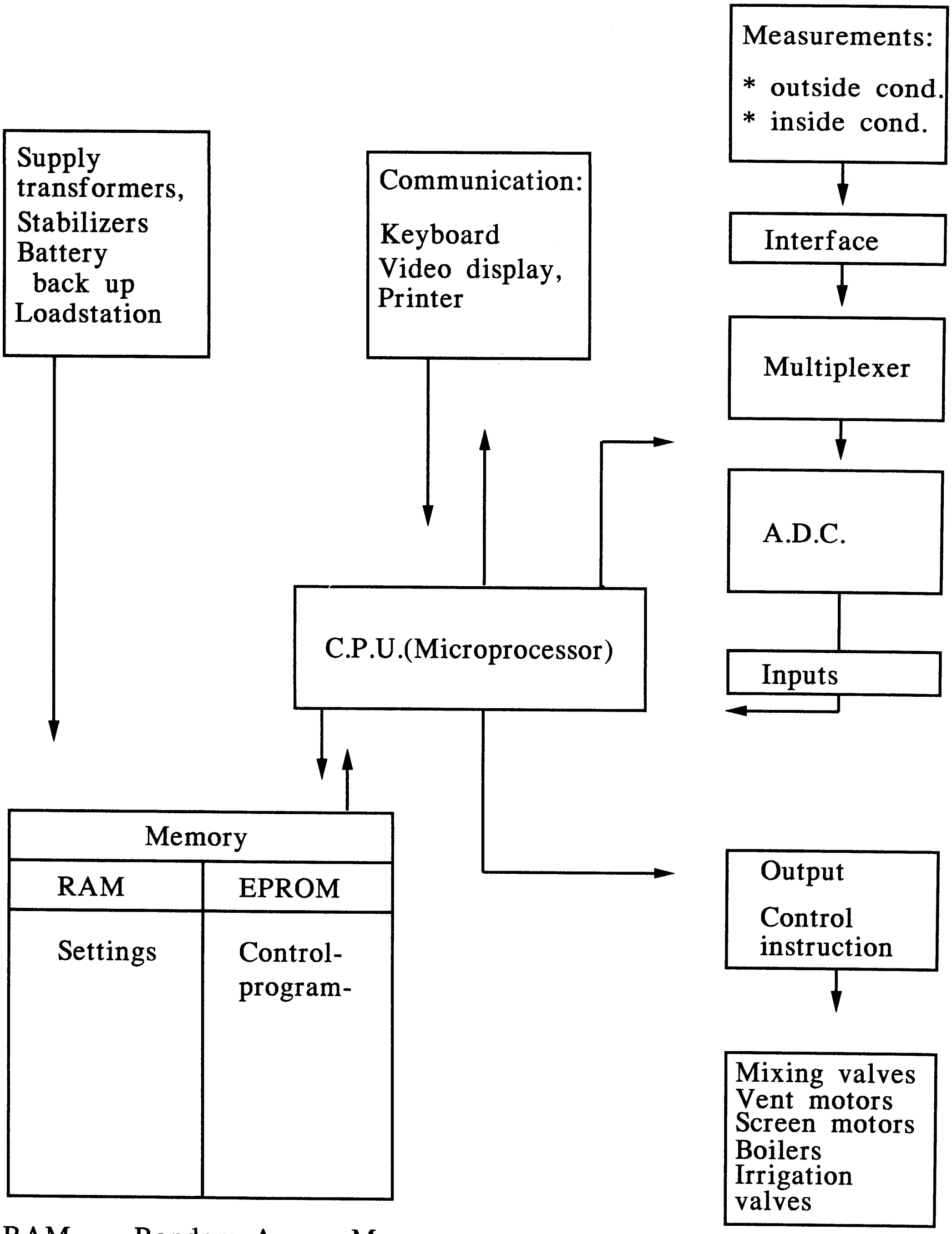


a. Wide-Span type



b. Venlo type

圖四　兩型溫室體積之比較



RAM = Random Access Memory
EPROM= Erasable Programmable ROM
ROM = Read Only Memory

圖五 環控電腦電路結構